Aus der medicinischen Poliklinik der Universität Halle.
(Director: Prof. Dr. Mohr.)

Ueber die
Function des Herzens im Hochgebirge.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin und Chirurgie

der

hohen medicinischen Facultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

vorgelegt von

Hermann Kuhn
aus Steinbach-Hallenberg.

Berlin 1913.
Druck von L. Schumacher, N. 4.

Gedruckt mit Genehmigung der hohen medicinischen Facultät der Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg.

Referent: Prof. Dr. Mohr.
Correferent: Geh. Med.-Rath Ad. Schmidt.

Roux, Dekan.

Sonderabdruck aus der Zeitschrift f. exp. Pathologie u. Therapie. 14. Band.

Die folgende Arbeit behandelt die Ergebnisse von Versuchen, die wir im Sommer 1912 im Hochgebirge — auf dem Brandenburger Haus, 3277 m ü. M. — über Herzschlag- und Minutenvolumen angestellt haben.

Da sich die ersten und oft einzigen subjectiven Erscheinungen beim Höhenwechsel gerade auf das Herz (Herzklopfen) beziehen, ist die Frage der Herzthätigkeit schon oft angeschnitten und von verschiedener Seite beleuchtet worden, ohne dass es bis jetzt gelungen wäre, wegen der Schwierigkeit der Methoden über das Herzschlagvolumen, diesen nach Zuntz bedeutungsvollsten Effect der Herzarbeit, Angaben zu machen.

Dass das Höhenklima von irgendwelchem Einfluss auf die Herzthätigkeit ist, geht aus verschiedenen Beobachtungen hervor, die sich theils auf das Gefässsystem selbst, theils auf Stoffwechsel und Blutbeschaffenheit beziehen. Am Blutgefässsystem ist der Puls in seiner Frequenz und Form einer directen Beobachtung zugängig. Die Frequenz ist wohl von allen Beobachtern in Höhen über 3000 m, um die es sich bei unseren Versuchen handelt, erhöht angegeben worden. In Betracht kommen zunächst die Zählungen, die Mosso an fünf berggewohnten und trainirten Soldaten beim Anstieg auf den Monte Rosa ausführte. Er erhielt dabei folgende maximale und minimale Mittelzahlen:

	Pulsfrequenz	
	geringste	grösste
Turin (276 m)	48,8	58,4
Gressoney (1627 m)	49,4	62,2
Lager Indra (2521 m)	54,4	61,0
Hütte Linty (3048 m)	54,6	65,0
Hütte Gnifetti (3620 m)	62,7	69,0
Hütte Königin Margherita (4650 m)	71,8	79,0

Kronecker liess, um die Wirkung der Muskelarbeit auszuschalten, seine Versuchspersonen — eine an Alter und Geschlecht verschieden zusammengesetzte Reisegesellschaft — von Zermatt auf das Breithorn eine Strecke reiten und dann tragen. Er erreichte eine Höhe von 3750 m, und erhielt auch so eine deutliche Steigerung.

Das umfassendste Material in exacter Beobachtnng lieferten Zuntz und seine Mitarbeiter bei ihrer Expedition vom Jahre 1901. Sie fanden geringe Pulsfrequenzsteigerung schon in Brienz (500 m), und nur wenig grössere auf dem Brienzer Rothorn (2150 m). Erhebliche Steigerung findet sich aber auf dem Col d'Olen (2900 m) mit dem Maximum auf dem Monte Rosa-Gipfel (4560 m). Dabei fiel dort besonders die grosse Erregbarkeit des Pulses auf, schon der Frequenzunterschied im Liegen (mit 80, 66, 84 in der Minute) und im Sitzen (99, 96, 100) war bedeutend.

Die letzten Untersuchungen stammen aus der Expedition von Gordon Douglas, Haldane, Yandell Henderson und Edward Schneider, die 1911 sich fünf Wochen auf dem Gipfel des Pikes Peak in Colorado in einer Höhe von 4137 m aufgehalten haben. Auch sie fanden eine gewisse Pulsbeschleunigung.

Wir selbst legten gegenüber diesen zahlreichen übereinstimmenden Angaben, die unter günstigeren Beobachtungsbedingungen gewonnen wurden als wir sie besonders durch Zeitmangel hatten, keinen besonderen Werth auf Pulszählungen, und nahmen sie nur gelegentlich unserer Versuche vor. Unsere Werthe stimmen mit den allgemein gefundenen überein. Wir fanden durchschnittliche Ruhewerthe:

	Halle	Brandenburger Haus
Mohr	69,5	81,6
Kuhn	59,7	71,4
Dorn	58,0	61,0
Schubert	59,0	69,3

Bei Mohr und Kuhn, an denen die meisten Versuche gemacht wurden, war ein kurzes Ansteigen und allmähliches Absinken der Pulszahlcurve, ähnlich wie es Zuntz beschrieben, zu beobachten. Es folgen die Zahlen:

Mohr: 83, 87,5, 87, 84, 77,5, 76, 76,
Kuhn: 66, 79, 70, 71, 71.

Im Charakter der Pulscurve fanden weder Zuntz noch Durig und ihre Mitarbeiter Unterschied bei Körperruhe.

Auch eine Aenderung des Blutdrucks ist nicht nachgewiesen. Die geringen gefundenen Schwankungen bewegen sich nach beiden Richtungen innerhalb der Fehlergrenzen um das in der Ebene für die Versuchsperson festgestellte Mittel.

So bleibt die Pulszahlerhöhung die einzig direct feststellbare Aenderung am Gefässsystem. Sie besagt nicht, ob und in welcher Richtung eine Aenderung der in der Zeiteinheit geleisteten Herzarbeit eintritt; denn der Frequenzsteigerung kann eine Verkleinerung des geförderten Schlagvolumens gegenüberstehen. Es fragt sich weiterhin, inwieweit etwaige Veränderungen der Stoffwechselvorgänge und der Blutbeschaffenheit auch auf Aenderung der Herzthätigkeit schliessen lassen.

Den Stoffwechsel, gemessen am O_2-Verbrauch und der CO_2-Production, fanden Jaquet und Stähelin schon in einer Höhe von 1600 m (Chasseral gegenüber Basel (270 m) erhöht, und zwar beobachteten sie eine Zunahme

des O_2-Verbrauchs in den Nüchternversuchen von 8,8 pCt. und der CO_2-Ausscheidung von 14,8 pCt. Auch Mermod und Veraguth haben ähnliche Resultate erzielt. Zuntz und Durig und Zuntz und Mitarbeiter fanden dagegen noch bei 2900 m keine nennenswerthe Aenderung des Stoffwechsels. Mosso fand an seinen Soldaten sogar auf dem Monte Rosa noch keine Steigerung, eher eine geringe Verminderung der CO_2-Production. Auch die erwähnte Expedition Haldane's etc. fand an einer gut beobachteten Person keine Stoffwechseländerungen. In Höhen über 3000 m fanden aber die anderen Beobachter deutliche Steigerungen des Stoffwechsels. Es seien hier die Zahlen der Zuntz'schen Expedition (1901) angeführt.

O_2-Verbrauch:

	Brienz	Margherita-Hütte
Kolmer	248,3	293,0
Caspary	224,0	324,6
Löwy	202,4	262,2
Zuntz	230,7	331,7

Wir selbst fanden in einer Höhe von 3277 m folgende Werthe im Vergleich mit denen in Halle:

	Halle	Brandenburger Haus
Mohr	272,7	292,7
Kuhn	257,5	292,5
Dorn	247,6	255,5
Schubert	228,5	273,9

So dürfen wir also schliessen, dass, wenn auch mit individuellen Schwankungen, der O_2-Verbrauch in der für unsere Versuche in Betracht kommenden Höhe meist gesteigert ist.

Für die Frage nach der Aenderung der Herzthätigkeit ist diese Thatsache in zweierlei Hinsicht zu betrachten. Erstens könnte man daran denken, dass neben der vermehrten Athemthätigkeit, die allein nicht ausreicht, die Vergrösserung des Stoffwechsels zu erklären, eine verstärkte Herzarbeit den O_2-Verbrauch steigert, zweitens muss eventuell die Herzarbeit herangezogen werden, die grössere O_2-Aufnahme zu vermitteln. Dem Organismus stehen nämlich für eine vermehrte Sauerstoffzufuhr zu den Geweben drei Wege zur Verfügung:

1. Zufuhr sauerstoffreicheren Blutes,
2. grössere Ausnutzung, d. h. grössere Sauerstoffverarmung des venösen Blutes,
3. Zufuhr grösserer Blutmengen.

Die Vermehrung des Hämoglobingehaltes im Höhenklima lässt zunächst an die Verwendung des ersten Weges, nämlich der Zufuhr sauerstoffreicheren Blutes denken.

Die Frage, ob eine Vermehrung von Hämoglobin und rothen Blutkörperchen wirklich eintritt, ist, nachdem P. Bert 1877 die Vermuthung ausgesprochen hatte und sie auch späterhin experimentell bestätigen zu können glaubte, von einer Reihe von Beobachtern untersucht worden. Wir brauchen in unserem Zusammenhang nicht näher auf diese Untersuchungen

einzugehen und nennen nur Viault mit Ebenen-Werthen von ca. 5 Millionen und Höhen-Werthen von $7^1/_2$—8 Millionen Erythrocyten, Egger, der in Arosa Zunahmen von durchschnittlich 14,7 pCt. fand. Es folgen Karcher, Suter, Veillon, Römisch u. a. mit ähnlichen Resultaten. Immer gingen bei diesen Beobachtungen die Veränderungen allmählich vor sich und die Vermehrung der rothen Blutkörperchen ging der des Hämoglobins voraus. Abderhalden allein fand eine sofortige, gleichmässig anhaltende Steigerung beider Werthe und schliesst deshalb auf keine thatsächliche, sondern eine relative Zunahme der Zahl der Erythrocyten und der Hämoglobinmenge. Doch hat auch Abderhalden in einer späteren Veröffentlichung eine vermehrte Blutbildung im Hochgebirge angenommen. Keine constante Zellvermehrung in der Volumeinheit fanden Zuntz, Löwy, Müller, Caspari 1901; dagegen ist die Gesammthämoglobinmenge beim Thier in der Höhe deutlich vermehrt, und das Knochenmark des Höhenthieres stellt vorwiegend thätiges, das des Berner Thieres vorwiegend ruhendes Fettmark dar, sodass Zuntz schliesst: Das Höhenklima besitzt einen ausgesprochenen Einfluss auf die Blutbildung. Mit Hülfe der Kohlenoxyd-Methode zur Bestimmung der Blutmenge konnten Douglas, Haldane, Henderson, Schneider auch den Gesammthämoglobingehalt beim Menschen bestimmen, und sie fanden eine deutliche, allmählich einsetzende Zunahme. Wir selbst bestimmten die Sauerstoff-Totalcapacität mit dem Kolbenkeilhämoglobinometer nach Plesch[1]), das das Kohlenoxydhämoglobin colorimetrisch bestimmt. Auch wir fanden so eine deutliche Steigerung der Höhenwerthe. Wir müssen jedoch zur Technik des Apparates bemerken, dass bei Ablesungen über 100, wo die Mischung doppelt verdünnt wird, die Einzelablesungen grössere Abweichungen zeigten, als Plesch mit 1 mm, d. h. 1 pCt., angiebt. Unsere Mittelzahlen, die demnach keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit machen können, waren:

	Halle	Brandenburger Haus	
Mohr	100	106	108
Kuhn	98	110	116
Dorn	97	108	110
Schubert	97	108	108

Diese Steigerung genügt, um bei der geringeren Sauerstoffspannung der Alveolarluft den Werth des Sauerstoffgehaltes im Blut in der Ebene zu erreichen, aber an den Weg der Zufuhr sauerstoffreicheren Blutes kann nicht gedacht werden. Nehmen wir z. B. die von uns gefundene Mittelzahl von 23 Versuchen für O_2- und CO_2-Spannung in den Alveolen, deren ungefähre Richtigkeit durch die übereinstimmenden Beobachtungen anderer (Durig, Zuntz, Haldane) bestätigt wird, mit

$$CO_2 = 28{,}7 \text{ mm Hg}$$
$$O_2 = 58{,}9 \text{ mm Hg}$$

und eine mittlere Volumencapacität des Blutes in unseren Versuchen in der Höhe mit 21,6 Vol.-pCt., so ergiebt die Dissociationscurve nach

1) Beschreibung siehe Münchener med. Wochenschr. 1910. No. 8.

Bohr, Hasselbalch und Krogh eine Sättigung von 88 pCt., demnach besteht ein durchschnittlicher O_2-Gehalt des arteriellen Blutes in der von uns beobachteten Höhe (3077 m) von 19,0 pCt. Dieser Werth entspricht fast genau unserem durchschnittlichen Ebenenwerth von 19,1 pCt.

Diese genaue Uebereinstimmung mag nur ein Zufall sein, die Regulation des Organismus ist aber jedenfalls sehr fein, denn wir können mit Verwerthung der Zahlen anderer Autoren ähnliche Resultate erhalten.

Viel schwieriger ist es, den Wirkungsgrad von Sauerstoff-Ausnützung und Blutzufuhr abzugrenzen. Für die Beurtheilung beider fehlten bis jetzt zahlenmässige Grundlagen, d. h. es sind weder Angaben über den Sauerstoffgehalt des venösen Blutes noch über die vom Herzen in der Zeiteinheit geförderte Blutmenge vorhanden.

Eine theoretische Erwägung lässt uns finden, dass die Sauerstoffabgabe unter vermindertem Luftdruck erheblich erleichtert sein muss; das zeigt ein Blick auf die Dissociationscurve beim menschlichen Blut. Sie verläuft unter geringeren Sauerstoffdrucken erheblich steiler, d. h. die Aufnahme und in diesem Fall Abgabe des Sauerstoffs ist erleichtert. Der Differenz von 70—100 mm Hg Druck für O_2 entspricht bei einem mittleren CO_2-Druck von 30 mm Hg eine Schwankung in der procentigen Sauerstoffsättigung des Hämoglobins von nur 5,5 pCt., einer Differenz von 50—80 mm Hg schon eine Schwankung von 13,2 pCt., bei 20 bis 50 mm Hg steigt der Werth auf 47,8 pCt. Andererseits geht die Sauerstoffabgabe an die Gewebe sicher in anderer Weise vor sich wie im Experiment unter verschiedenen Drucken, und es blieb deshalb zunächst unsicher, ob und wieweit im Hochgebirge eine vermehrte Sauerstoffabgabe stattfindet.

Wir finden in der Literatur überhaupt keinen Hinweis auf diese Frage. Das liegt an der Schwierigkeit der Methode, den Sauerstoffgehalt im venösen Blut festzustellen. Wie wir weiter unten sehen werden, ist die Ermittelung dieser Grösse ein Factor in der Berechnung des Herzschlagvolumens nach Plesch. Auf die Methode selbst wird weiter unten eingegangen, hier sollen nur die Resultate unter dem Vorbehalt der später folgenden Kritik abgegeben werden. Wir erhielten: O_2-Gehalt des venösen Blutes:

	Halle	Brandenburger Haus
Mohr	12,4	12,1
Kuhn	12,0	12,7
Dorn	11,8	12,2
Schubert	11,9	11,3
Durchschnitt . .	12,0	12,1

In der Sauerstoffabgabe an die Gewebe tritt also, soweit wir das übersehen können, überhaupt keine, sicher keine wesentliche Aenderung ein. Auf diesem zweiten Wege scheint eine regulirende Thätigkeit des Organismus also nicht einzutreten.

Kommen wir nun auf unsere Frage zurück, wieweit Veränderungen der Stoffwechselvorgänge und der Blutbeschaffenheit auf Aenderung der Herzthätigkeit schliessen lassen, so müsste unsere Antwort lauten, dass

der Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes im Hochgebirge und die Abgabe des Sauerstoffs an die Gewebe einen normalen Stoffwechsel zu unterhalten im Stande sind, dass aber für eine Erhöhung des Sauerstoffbedarfs der dritte Weg, nämlich die Zufuhr grösserer Blutmengen, eingeschlagen werden muss. So könnten wir auf geringe Vermehrung der Herzthätigkeit schliessen.

Erwähnt sei noch, dass man versucht hat, anatomisch eine Veränderung des Herzmuskels nach Aufenthalt in Höhenlagen zu finden, die dann auf Veränderung der Function schliessen liesse. Strohl führte gewichtsvergleichende Untersuchungen des Herzens aus am Alpenschneehuhn (Lagopus mutus sive alpinus) und seinen nächsten in den Ebenen des Nordens lebenden Verwandten, dem Moorschneehuhn (Lagopus lagopus sive albus). Er fand bei den ersteren im Mittel ein Herzgewicht von 16,30 g (auf 1000 g Körpergewicht), bei letzteren von 11,98 g, und will damit einen Beweis für die grössere Arbeitsleistung des Herzens im Höhenklima geliefert haben. Doch lassen diese Untersuchungen an Thieren, die sich nach Lage der Dinge unter verschiedenen Lebensbedingungen befinden, keine bindenden Schlüsse auf die Herzthätigkeit des Menschen im Hochgebirge zu.

Wenn es nun nicht gelungen ist, directe Angaben über Herzschlag- und Minutenvolumen im Hochgebirge zu machen, so liegt das an der Schwierigkeit der Beobachtung dieser Grössen überhaupt.

Volkmann und Vierordt haben als erste versucht, das Minuten- und Schlagvolumen des Herzens beim Thier durch Messung der Blutstromgeschwindigkeit festzustellen; Kürschner will das Schlagvolumen aus dem Rauminhalt der Herzkammern bestimmen, Stolnikow und Pawlow maassen direct mit Hülfe eines eingehalteten Messrohres, Tigerstedt bestimmte mittels eines der Ludwig'schen Stromuhr ähnlichen Instrumentes das Schlagvolumen am Kaninchenherzen, Zuntz misst es unter Verwendung des Blutdruckes in der Aorta. Weiter wurde von Gréhant und Quinquaud beim Hund, von Zuntz und Hagemann beim Pferd eine Methode angewandt, die von dem Gedankengang Fick's ausgeht, aus dem Gasgehalt des arteriellen und Venenblutes combinirt mit einem Respirationsversuch das Schlagvolumen zu bestimmen. Die ersten Versuche am Menschen wurden von Löwy und v. Schrötter auf derselben Grundlage ausgeführt. Dem Gang dieser Versuche, bei denen die Einführung eines Tamponkatheters nothwendig ist, entspricht die Methode von Plesch, der aber ohne Katheter arbeitet.

Diese Methode sei hier kurz geschildert. Der erwähnte Gedankengang Fick's, dem Plesch folgt, ist folgender: Kann man einerseits den procentigen Sauerstoffgehalt des der Lunge zu- und abströmenden Blutes ermitteln, und kennt man andererseits die in der Zeiteinheit überhaupt verbrauchte Sauerstoffmenge, so kann man rechnerisch leicht ermitteln, welche Gesammtblutmenge nöthig war, den aufgenommenen Sauerstoff zu transportiren. Diese Menge musste in der Zeiteinheit die Lunge passiren und vom Herzen befördert werden. Setzt man als Zeiteinheit die Minute, so erhält man also das Minutenvolumen. Die Division durch die Pulszahl ergiebt dann das Schlagvolumen. Nach dem Vorgange von Zuntz ist es mit Hülfe einer Gasuhr und des Zuntz-Geppert-

schen oder ähnlicher Gasanalysenapparate nicht schwer, den in der Minute ein- und ausgeathmeten Sauerstoff und damit den Sauerstoffverbrauch in der Minute zu ermitteln. Für die Ermittelung des procentigen Sauerstoffgehalts des Lungenblutes wandten Löwy und v. Schrötter die Beziehung des Blutgasgehaltes zu den alveolären Gasspannungen an. Dabei soll der Gasgehalt des arteriellen Blutes in Beziehung stehen zu den Gasspannungen in den frei athmenden Alveolen. Zur Ermittelung dieser Spannungen kann man entweder den sogenannten directen Weg einschlagen (Haldane), indem man am Ende einer Exspiration eine Probe der Exspirationsluft nimmt, analysirt und aus dem Mittel mehrerer Versuche den mittleren Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt der Lungenluft und damit die CO_2- und O_2-Tension berechnet. Oder man kann den Werth des schädlichen Raumes einführen, wie dies Bohr, Löwy und Zuntz gethan haben, und auf indirectem Wege die Gasspannungen berechnen. Keine der beiden Methoden giebt genaue Werthe, Haldane rechnet mit zwei einzelnen Athemzügen, bei denen sich geringe Aenderungen der Athemmechanik und damit grosse Schwankungen der Werthe schwer vermeiden lassen, und die indirecte Methode arbeitet mit einer Constanz des schädlichen Raumes, die in Wirklichkeit nicht besteht. Immerhin geben aber ziemliche Unterschiede im schädlichen Raum nur geringe Differenzen in den Gasspannungen (140 gegen 180 ccm S.-R. ergiebt 62 gegen 66 mm Hg Sauerstofftension nach Siebeck), und man erhält das Mittel von einer grossen Zahl von Athemzügen, so dass wir den indirecten Weg vorzogen. Noch schwieriger ist es, die Gasspannung im venösen Blut festzustellen. Man muss eine Arterialisirung des zuströmenden Blutes verhindern und Proben der Alveolarluft entnehmen können. Löwy und v. Schrötter wandten dazu einen Tamponkatheter an, durch den ein Lungentheil abgesperrt und aus diesem von Zeit zu Zeit Luft aspirirt werden konnte. Plesch will die Schwierigkeiten und Schädigungen des Versuches, die durch Einführung eines Katheters entstehen, vermeiden und giebt eine Doppelgummisackeinrichtung an, bei der durch Athmung gegen Stickstoff einerseits die Arterialisirung des venösen Blutes verhindert und andererseits gewissermaassen ein Theil des Lungenluftraumes nach aussen verlegt und analysirbar gemacht wird. Aus dem Procentgehalt der analysirten Luft an CO_2 und O_2 berechnet man auch hier die Gasspannungen. Nachdem entnimmt man aus der Dissociationscurve nach Bohr, Hasselbalch und Krogh die procentige Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff im arteriellen und venösen Blut. Bestimmt man noch mit dem Kolbenkeilhämoglobinometer die Totalsauerstoffcapacität des Blutes, so kann man den Procentgehalt an Sauerstoff des zur Lunge zugeführten und abfliessenden Blutes berechnen. Aus der Differenz zwischen beiden Werthen und dem Gesammt-O_2-Verbrauch in der Minute ergiebt sich dann, wie oben ausgeführt, Minuten- und Schlagvolumen.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass die Plesch'sche Methode mit grossen Fehlerquellen arbeiten muss, und so ist sie von verschiedenen Seiten kritisirt worden. Bohr und Henriques wenden sich dagegen, überhaupt directe Schlüsse aus den Alveolarspannungen auf die Blutgase zu ziehen, weil die Lunge nicht passiv beim Gaswechsel betheiligt,

sondern selbst ein Ort lebhafter Oxydationen sei. Ein zwingender Beweis für die Auffassung Bohr's ist bisher keineswegs erbracht, Zuntz und seine Mitarbeiter und Plesch haben geglaubt, sie mit gewichtigen Gründen ablehnen zu können. Douglas, Haldane, Henderson, Schneider arbeiten in den vorläufigen Mittheilungen über ihre Expedition nach den Peakes Pik sehr stark mit dem Begriff der Secretion der Alveolarepithelien. So führen sie die Akklimatisation an das Höhenklima auf Secretionssteigerung der Epithelien zurück. Leider lassen sich aus den kurzen mir zugänglichen Angaben in den „Proceedings" keine näheren Gründe für ihre Anschauung entnehmen, sodass eine kritische Würdigung unmöglich ist. Weitere Bedenken gegen die Plesch'sche Methode beziehen sich auf die Anwendung der Dissociationscurve, die keine genauen und constanten Werthe geben soll. Plesch giebt hier Fehler bis zu 3 pCt. zu, doch mag die Fehlergrenze noch höher liegen. Zu berücksichtigen ist noch ein Hauptfehler der Methode, der nicht in den theoretischen Voraussetzungen liegt, sondern darin, dass es rein technisch nicht gelingt, während einer Kreislaufzeit durch Mischung und Diffusion die ganze Lungenluft so gleichmässig zu vertheilen, dass die zu analysirende Exspirations- bezw. Sackluft gleich der Alveolarluft wird. Das geht schon aus Plesch's Arbeit selbst hervor. Während er vorher schreibt, dass der Ausgleich zwischen Blutgasen einerseits und Lungen- und Sackluft andererseits schon lange vor Ablauf eines Kreislaufes eintritt, und nur bei schwer Anämischen ein Ausgleich schwerer zu Stande kommt, hat er in der Tabelle (S. 12 u. 13), die doch ersichtlich nicht von einem Anämischen stammt, beim ersten Versuch und bei der dritten Wiederholung einen Unterschied von 4 pCt. auf 5,15 pCt., und von 3,87 pCt. auf 5,16 pCt., was entschieden beweist — wenn anders der wiederholte Versuch richtig ist —, dass der Werth im einmaligen Versuch zu klein ist. Schon Durig zeigt mit Versuchen an todten Hunden, die für die vorliegende Frage natürlich nur mit grösster Kritik zu verwenden sind, dass durch blosse Athembewegung eine gleichmässige Mischung der Luft in der Lunge erst beim 30. bis 50. Athemzug eintritt. Mögen auch die Verhältnisse am lebenden Thier und Menschen besser liegen, so ist doch von vornherein ersichtlich, dass in den langen und engen Bronchien gegenüber der grossen Alveolarfläche eine Mischung nur schwer eintritt und bei den im Plesch-Versuch möglichen etwa 4 Athemzügen eine Gleichheit zwischen Alveolar- und Exspirationsluft bezw. Sackluft nicht zu erreichen ist. Ein schlagender Beweis dafür ist, dass noch nicht einmal die letzte zur Analyse kommende Exspirationsluft homogen zusammengesetzt ist. Theilt man nämlich die letzte Ausathmung in zwei Theile (etwa in Respirations- und Reserveluft), was mit Hülfe eines dritten Sackes leicht gelingt, so erhält man recht verschiedene Werthe, nämlich im Mittel von 10 Versuchen:

	I. Theil	II. Theil
O_2	3,78 pCt.	4,87 pCt.
CO_2	3,77 pCt.	4,46 pCt.

Sehr verschieden sind die Werthe auch, je nachdem man die Sackathmung tiefer oder flacher ausführt, was doch, da die Respirations-

bewegungen lediglich dazu dienen, dass das Gasgemenge im Sack mit den Gasen der Lunge sich vollständig ausgleicht, nicht der Fall sein dürfte. Wir erhielten im Mittel bei

	tiefer Athmung	flacher Athmung
CO_2	3,89 pCt.	4,42 pCt.
O_2	4,56 pCt.	6,13 pCt.

Es kommt also wesentlich darauf an, die Athembewegungen bei der Sackathmung in jedem Versuch möglichst gleichmässig zu gestalten.

Wie oben bemerkt, schlägt Plesch bei schwer Anämischen, aber „auch sonst" die Wiederholung des Versuchs in der Weise vor, dass man den grossen Sack frisch mit Stickstoff füllt, und jetzt nicht in Inspiration die Communication zum kleinen Sack herstellt, sondern bei tiefster Exspiration. Die Respiration erfolgt dann mit dem bereits von den vorigen Versuchen an CO_2 und O_2 angereicherten Inhalt des kleinen Sackes. Gegen diese Wiederholungsmethode sind schwere Bedenken zu erheben. Zunächst wird mechanisch dadurch gar keine Besserung der Mischung erzielt, für die Diffusion liegen die Verhältnisse allerdings günstiger, trotzdem blieben in einem 3 Mal in der angegebenen Weise wiederholten Versuch bei Analyse des letzten Athemzuges in zwei Theilen folgende Unterschiede:

	I. Theil	II. Theil
CO_2	4,68 pCt.	4,74 pCt.
O_2	4,79 pCt.	5,47 pCt.

Auch die Athemtechnik hat noch einen grossen Einfluss auf die Werthe:

	tiefe Athmung	flache Athmung
CO_2	4,81 pCt.	4,37 pCt.
O_2	4,36 pCt.	6,00 pCt.

Abgesehen davon, dass also auch hier keine vollständige Durchmischung der Lungenluft eintritt, ist der wiederholte Versuch deshalb unbrauchbar, weil schon der erste Versuch, bei dem eine grosse Blutmenge schlecht oder nicht arterialisirt den Körper passiren muss, sicher eine Veränderung der Circulation hervorruft. Man muss mindestens zwischen die Versuche längere Pausen legen, und so wird z. B. die später bei Plesch geschilderte Anordnung beim Arbeitsversuch unmöglich. So kommen wir zu dem Schluss, dass die Plesch'sche Methode mit sehr grossen Fehlern arbeitet und jedenfalls keine absoluten Werthe liefern kann. Wenn wir sie trotzdem für unsere Versuche im Hochgebirge wählten, so geschah das, weil wir ihr eine Bedeutung für die Anzeige von gröberen Aenderungen im Herzschlag- und Minutenvolumen nicht absprechen. Die Sackluft ist zwar nicht gleich der Alveolärluft, aber sie wird von ihr beeinflusst. Dafür sprechen die bisher ausgeführten Versuche, die unter bestimmten Einflüssen immer wieder gleichsinnige Schwankungen im Minutenvolumen aufweisen. In den Fällen allerdings, wo diese Schwankungen nicht auf regelmässigen, gleichsinnigen Veränderungen in der Zusammensetzung der Sackluft, sondern auf Veränderung der anderen Berechnungscomponenten (O_2-Verbrauch und

Name	No.	Alter	Grösse cm	Gewicht kg	Ort	Zeit	Bemerkung	Puls	Sauerstoff-Totalcapac.	Athemzüge	Athemtiefe ccm
Mohr	1	38	183	88	Brandenburger Haus (3277 m)	14. 8. 12	Bettruhe, nüchtern	83	108	11,5	471
	2					15. 8. 12	do.	87,5	108	9	478
	3					16. 8. 12	do.	77,5	108	10	395
	4					16. 8. 12	do.	76	108	9	449
	5					17. 8. 12	do.	76	108	11	406
	6					15. 8. 12	Bettruhe, 4 Std. n. Essen	87	108	14	325
	7					15. 8. 12	do.	84	108	10	466
	8				**Mittel der Nüchtern-Ruheversuche im Hochgebirge**			**80**	**108**	**10**	**438**
	9				Halle a. S.	20. 11. 12	Ruhe, nüchtern	71	100	9	640
	10					8. 12. 12	do.	68	100	10	546
					Mittel der Nüchtern-Ruheversuche in der Ebene			**69,5**	**100**	**9,5**	**593**
Kuhn	11	23	165	68	Brandenburger Haus	12. 8. 12	Bettruhe, nüchtern	66	110	14	341
	12					12. 8. 12	do.	79	110	16	455
	13					13. 8. 12	do.	70	116	14,5	349
	14					15. 8. 12	do.	71	116	10	405
	15					17. 8. 12	do.	71	116	13,5	316
	16					12. 8. 12	nach Arbeit	98	110	17	483
	17					16. 8. 12	$2^1/_2$ Std. nach Essen mit $^1/_4$ Liter Wein	91	116	14	346
	18					16. 8. 12		87	116	14	302
					Mittel der Nüchtern-Ruheversuche im Hochgebirge			**71**	**114**	**14**	**373**
	19				Halle a. S.	27. 10. 12	Ruhe, nüchtern	67	98	12	432
	20					26. 9. 12	do.	59	98	10,7	447
					Mittel der Nüchtern-Ruheversuche in der Ebene			**63**	**98**	**11,4**	**440**
Dorn	21	24	168	65	Brandenburger Haus	13. 8. 12	Bettruhe, nüchtern	58	110	8	862
	22					15. 8. 12	do.	56	110	8	832
	23					16. 8. 12	do.	66	110	9,5	380
	24					17. 8. 12	do.	59	110	13	272
					Mittel der Nüchtern-Ruheversuche im Hochgebirge			**59,8**	**110**	**10**	**587**
	25				Halle a. S.	17. 9. 12	Ruhe, nüchtern	60	97	11,5	445
	26					18. 9. 12	do.	56	97	11,5	412
					Mittel der Nüchtern-Ruheversuche in der Ebene			**58**	**97**	**11,5**	**429**
Schubert	27	24	164	67	Brandenburger Haus	12. 8. 12	Bettruhe, nüchtern	77	108	11	423
	28					14. 8. 12	do.	66	108	7	984
	29					15. 8. 12	do.	64	108	10	409
	30					16. 8. 12	do.	70	108	10	387
					Mittel der Nüchtern-Ruheversuche im Hochgebirge			**69**	**108**	**10**	**551**
	31				Halle a. S.	13. 9. 12	Ruhe, nüchtern	57	97	10	420
	32					16. 9. 12	do.	60	97	10	414
	33					16. 9. 12	do.	60	97	9	466
					Mittel der Nüchtern-Ruheversuche in der Ebene			**59**	**97**	**10**	**433**

Bemerkungen: ad 1. Am Tage nach Ersteigung des Brandenburger Hauses: sehr labiler nach Höhenaufenthalt erster Versuch. — ad 4. Falsche Ausführung der Sackathmung? Werth stimmt berücksichtigt. — ad 9. Schmerzen im verletzten Fuss nur theilweise berücksichtigt. — ad 21 und 22. zwischen den hintereinander ausgeführten Versuchen 34

O_2-Capacität des Blutes) beruhen, können sie nicht als Stütze für die Richtigkeit der Sackluftathmung und damit der Methode dienen. Das ist in weitgehendem Maasse z. B. bei dem vergrösserten Sauerstoffverbrauch im kalten Bade (Schapals) und bei der Verminderung der Sauerstoffcapacität bei Anämischen (Plesch) der Fall. Ja, immer gleichgerichtete Schwankungen im CO_2- und O_2-Gehalt der Sackluft können sogar noch, wie z. B. bei Versuchen im warmen Bad, durch gleichartig veränderte Athemtechnik bedingt sein.

Abgel. Min.-Vol.	Red. Min.-Vol.	CO_2-Prod. ccm	CO_2-Verbr. ccm	Resp.-Quot.	Gasspannung im art. Blut CO_2	Gasspannung im art. Blut O_2	Gasspannung im ven. Blut CO_2	Gasspannung im ven. Blut O_2	Sauerstoffgehalt Art.-Blut	Sauerstoffgehalt Ven.-Blut	Herz-Min.-Vol.	Schlag-Vol.
8,022	5,410	254,2	337,0	0,76	27,65	60,8	21,1	28,87	19,29	13,38	5740	69,2
6,313	4,31	223,5	291,0	0,77	30,65	58,2	22,9	26,3	18,9	11,46	3910	44,7
5,714	3,95	196,0	269,7	0,73	30,9	55,2	22,1	25,2	18,3	11,02	3579	46,2
5,849	4,04	207,5	293,9	0,71	30,8	53,1	20,8	31,5?	18,23	13,95?	6805	89,5
6,654	4,47	198,5	272,0	0,73	27,4	60,3	23,3	28,2	19,10	12,5	4128	54,3
6,693	4,56	230,7	286,0	0,81	33,9	48.6	24,3	23,4	17,4	9,94	3833	44,1
6,847	4,66	249,2	326,5	0,76	31,8	55,9	23,0	28,6	18,6	12,63	5515	65,7
6,510	**4,43**	**215,9**	**292,7**	**0,74**	**29,5**	**57,5**	**22,0**	**27,1**	**18,8**	**12,1**	**4339**	**53,6**
6,173	5,76	233,5	311,2	0,75	36,8	98,7	24,46	29,99	19,4	12,0	4210	59,2
5,930	5,46	179,8	272,7	0,66	31,4	100,7	24,7	32,9	19,6	12,8	4015	59,0
6,052	**5,61**	**179,8**	**272,7**	**0,71**	**34.1**	**99,7**	**24,6**	**31,5**	**19,5**	**12,4**	**4015**	**59,0**
6,10	4,26	177,1	253,2	0,70	27,3	58,7	20,4	26,9	19,4	12,5	3710	56,3
7,28	4,92	234,3	329,2	0,71	28,2	58,8	22,3	29,4	19,4	13,4	5525	69.8
7,31	5,06	221,2	324,0	0,68	28,2	56,7	11,4	24,1	19,3	13,9	6040	86,3
5,93	4,05	204,0	308,2	0,66	31,3	50,6	20,5	23,8	18,4	11,4	4417	62,2
6,28	4,28	201,5	248,0	0,81	31,9	58,6	23,6	27,3	19,5	12,5	3538	49,8
11,91	8,23	347,2	444,0	0,78	24,9	66,4	11,7	16,4	20,1	11,7	5245	53,5
7,09	4,85	227,2	298,8	0,76	30,6	57,7	20,9	25,6	19,4	12,0	4065	44,7
6,86	4,73	219,2	297,5	0,74	32,1	54,2	23,0	26,1	19,0	11,8	4149	47,7
6,58	**4,51**	**207,6**	**292,5**	**0,71**	**29,4**	**56,7**	**19,6**	**26,3**	**19,2**	**12,7**	**4646**	**64,9**
5,58	5,18	199,9	259,0	0,77	40,5	95,5	20,8	32,4	19,1	12,0	3646	54,4
5,13	4,78	197,9	256,0	0,77	42,7	93,2	22,9	29,9	19,0	11,9	3604	61,0
5,36	**4,98**	**198,8**	**257,5**	**0,77**	**41,6**	**94,4**	**21,9**	**31,2**	**19,1**	**12,0**	**3625**	**57,7**
10,35	6,89	287,0	376,0	0,78	24,2	71,3	19,3	21,7	20,7	13,0	4885	84,3
9,66	6,86	253,5	284,0	0,89	20,3	75.2	14,9	22,3	20,9	11,9	3127	55,8
5,17	3,61	165,0	219,8	0,75	25,7	59,5	18,0	24,3	19,6	12,4	3068	46,5
5,18	3,53	173,6	230,2	0,75	35,6	50,0	20,8	24,4	17,7	11,3	3617	61,3
7,59	**5,17**	**219,8**	**277,5**	**0,77**	**26,9**	**64,0**	**18,3**	**23,2**	**19,7**	**12,2**	**3674**	**62,0**
5,48	5,11	207,3	255,5	0,81	42,0	95,7	27,8	28,9	18,8	11,1	3318	55,2
5,07	4,73	181,3	239,6	0,76	41,2	93,0	23,7	32,6	18,8	12,5	3802	67,8
5,28	**4,92**	**194,3**	**247,6**	**0,79**	**41,6**	**94,4**	**25,8**	**30,8**	**18,8**	**11,8**	**3560**	**61,5**
6,94	4,66	232,6	336,2	0,69	26,8	59,3	20,4	24,6	17,9	10,6	4605	59,8
6,88	4,69	224,5	263,5	0,86	24,9	68,7	19,8	26,1	20,1	12,1	3299	49,8
5,96	4,09	197,8	243,2	0,85	29,2	61,2	21,1	25,7	19,2	11,5	3130	48,9
5,27	3,87	186,7	252,8	0,74	30,2	56,8	20,5	23,5	18,7	10,8	3202	45,7
6,26	**4,33**	**210,4**	**273,9**	**0,79**	**27,8**	**61,5**	**20,5**	**25,0**	**19,0**	**11,3**	**3559**	**51,1**
4,49	4,20	171,5	226,8	0,75	43,4	90,6	25,3	31,5	18,6	12,1	3489	60,1
4,45	4,14	175,2	223,3	0,78	45,3	89,4	26,0	30,2	18,5	11,6	3235	53,8
4,50	4,20	174,0	235,5	0,74	42,0	90,7	26,0	30,2	18,6	11,6	3360	56,0
4,48	**4,18**	**173,6**	**228,5**	**0,76**	**43,6**	**90,2**	**25,7**	**30,9**	**18,6**	**11,9**	**3361**	**56,6**

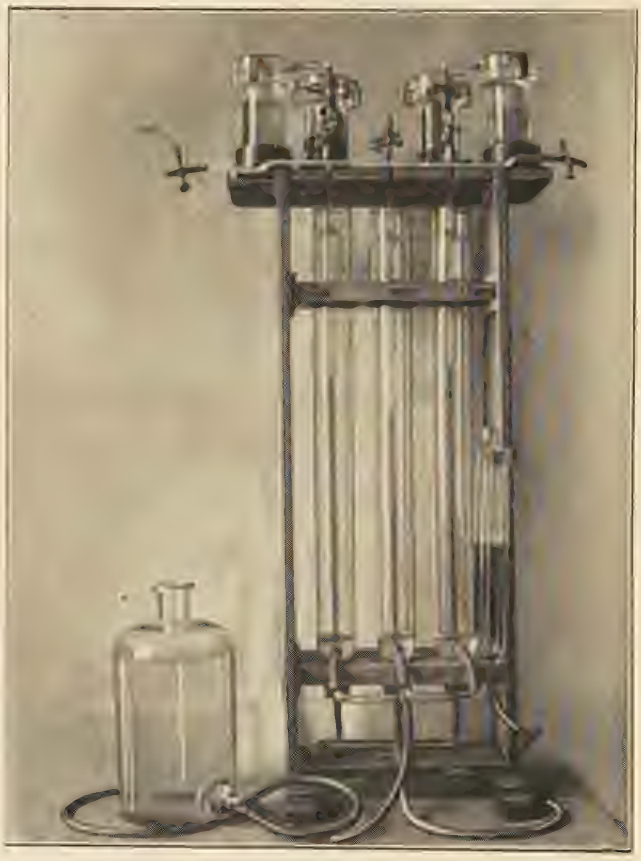
Puls, Kurzathmigkeit bei geringer Anstrengung, Kopfdruck, bei Kuhn, Dorn und Schubert 3 Tage nicht, da Versuch 3 und 4 hintereinander ausgeführt. Bei der Berechnung der Mittelzahl nicht Forcirte Athmung, wahrscheinlich beeinflusst durch Athmen gegen Gasuhr. — ad 33. Sackathmung und 35. Im Mittel nur einfach verwerthet.

So musste es zur weiteren Kritik einer Methode, die mit den Gasspannungen rechnet, wichtig sein, sie unter gänzlich veränderten Gasdrucken, wie wir sie im Hochgebirge finden, anzuwenden.

Unter diesen Gesichtspunkten entschlossen wir uns, im Sommer 1912 im „Brandenburger Haus“, 3277 m hoch in den centralen Oetzthaler Alpen gelegen, Versuche mit der Plesch'schen Methode anzustellen. Das „Brandenburger Haus“ eignet sich hervorragend zur Ausführung höhenklimatischer Arbeiten. Durch die Thätigkeit der Section „Mark Branden-

burg" des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins ist inmitten der Gletscher ein Haus mit aller wünschenswerthen Bequemlichkeit errichtet, in dem man uns ein heizbares, geräumiges Zimmer für unsere wissenschaftlichen Arbeiten in dankenswerther Weise zur Verfügung stellte.

Vieler Vorbereitungen zur Reise bedurfte es nicht. Es machte uns zunächst Schwierigkeiten, einen möglichst transportablen Gasanalysenapparat herzustellen, der von Durig angegebene, auch im Zuntz'schen Werk abgebildete Apparat schien unseren Forderungen nicht genügend zu entsprechen. Das grosse Wasserbassin, der lange Eisenstab und das ständige Liegen von Schläuchen im Wasser schienen uns bedenklich. Wir gaben deshalb folgende hier abgebildete Modification des nach Zuntz und Geppert construirten Apparates, bei der Firma Götze, Leipzig-Halle, in Arbeit.



Hier wird die Temperaturconstante durch drei einzelne, kühlerähnliche Wassermäntel erzielt, die die Messbüretten umgeben. Um nun gleichtemperirtes und gemischtes Wasser in allen drei umgebenden Röhren zu erzielen, communiciren sie und stehen mit einer genügend grossen Flasche in Verbindung. Wird diese Flasche gesenkt, entleeren sich die Röhren hinein, wird sie gehoben, so fliesst gleichmässig gemischtes Wasser zurück. In unserer Abbildung ist das Wasser aus den Röhren gerade in die Flasche entleert. Montirt ist der Apparat in und an einem Kasten, der sich durch zwei hier nicht mit abgebildete Deckel verschliessen lässt und Gewähr für einen guten Transport bietet.

Durch die besondere Freundlichkeit von Herrn Geheimrath Zuntz, der uns eine seiner transportablen Trockengasuhren gütigst zur Verfügung stellte, wurde eine

Schwierigkeit überwunden, die im letzten Augenblick durch verzögerte Reparatur unserer Gasuhr entstanden war. Interessant ist es vielleicht, dass uns ein Träger eine Last von 63 kg von der Vernagt-Hütte 2766 mm über das Brandenburger Jöchl nach dem Brandenburger Haus trug.

Die Versuchsanordnung im Hochgebirge zeigt keine Besonderheit. Die Beobachtungen wurden meist früh nüchtern in Bettruhe gemacht. Versuche im Freien konnten bei dem aussergewöhnlich schlechten Wetter, das wir während unseres Aufenthaltes hatten, nicht ausgeführt werden. Alle Volumina, auch Athemtiefe und schädlicher Raum, sind auf 0° und 760 mm Hg Druck reducirt und es ist angenommen, dass Alveolar-, Sack- und Exspirationsluft mit Wasserdampf gesättigt sind, was ja mindestens für die Exspirationsluft nicht zutrifft; der aus der falschen Annahme sich ergebende Fehler ist aber nur klein.

Oben ist im Zusammenhang schon von unseren Beobachtungen über Pulsfrequenz, Hämoglobingehalt des Blutes und die Stoffwechselwerthe gesprochen. Die functionelle Methode zur Bestimmung der Gesammtsauerstoffcapacität in Blut mit dem Kolbenkeilhämoglobinometer giebt eine neue Stütze für die Annahme einer Vermehrung des thätigen Hämoglobins in der Höhe. Die Stoffwechselwerthe können, da wir unsere Lebensweise nicht genau entsprechend der Ebene einrichteten, keinen Anspruch darauf machen, einen Fortschritt gegenüber früher gefundenen zu bedeuten. Angeführt seien noch unsere Werthe der alveolären CO_2- und O_2-Tension, die sowohl für Ebene als auch für Höhe an der unteren Grenze der von anderen gefundenen liegen.

	Ebene		Höhe	
	CO_2	O_2	CO_2	O_2
Mohr	34,2	99,7	29,5	57,5
Kuhn	41,6	94,4	29,4	56,7
Dorn	41,6	94,4	26,9	64,0
Schubert	43,6	90,2	27,8	61,5

Neu sind die mit Hülfe der Doppelsackeinrichtung nach Plesch gefundenen Werthe. Die Analyse der Sackluft ergab im Durchschnitt im Hochgebirge:

4,24 pCt. CO_2
5,38 pCt. O_2,

in der Ebene:

3,44 pCt. CO_2
4,34 pCt. O_2.

Dem entspricht in der Höhe im venösen Blut

ein CO_2-Druck von 20,8 mm Hg
ein O_2-Druck von 26,4 mm Hg,

in der Ebene:

ein CO_2-Druck von 25,5 mm Hg
ein O_2-Druck von 30,9 mm Hg,

umgerechnet auf 520 mm Hg Luftdruck entsprechend dem Luftdruck auf dem Brandenburger Haus

ein CO_2-Druck von 16,9 mm Hg
ein O_2-Druck von 21,3 mm Hg.

Wir fanden also im Hochgebirge höhere Werthe für die Gasspannungen im venösen Blut, als die auf den entsprechenden Luftdruck umgerechneten,

in der Ebene gewonnenen Werthe erwarten liessen. Es tritt, und das ist eine gute Stütze für die Verwendbarkeit der Plesch'schen Methode, keine rein physikalisch, sondern eine biologisch bedingte Veränderung der Sackluft ein. Dass diese Veränderung im richtigen Sinne erfolgt, zeigt folgende Ueberlegung: Würde die Gasspannung im venösen Blut so sinken wie die im arteriellen, so würde man viel zu niedrige Werthe für das Herzschlag- und Minutenvolumen erhalten. Da nämlich die Dissociation von Sauerstoff für das Hämoglobin bei niedrigeren Sauerstoffdrucken sehr erleichtert ist (steilerer Abfall der Dissociationscurve), würden trotz etwa gleichgrosser Sauerstoffdruckunterschiede unter geringerem Gesammtdruck viel grössere Unterschiede in der Differenz des Sauerstoffgehaltes im arteriellen und venösen Blut entstehen. Das Minuten- und Schlagvolumen wird infolgedessen kleiner. Nehmen wir z. B. in einem Versuch mit an sich schon niedrigen Werthen (Versuch 2) gleiche Verminderung der Gasspannungen im venösen und arteriellen Blut an, so würden wir

ein Minutenvolumen von etwa 2200 ccm
ein Schlagvolumen von etwa 25 ccm

erhalten. Wir haben dagegen

Minutenvolumen 3833 ccm
Schlagvolumen 44,1 ccm.

Es ist wohl ohne weiteres anzunehmen, dass die letzten Werthe die richtigeren sind. Nach der obigen Kritik der Plesch'schen Methode ist sogar wahrscheinlich, dass die Schwankung in der Alveolarluft noch grösser ist als in der Sackluft, so dass sich noch etwas grössere Herzschlag- und Minutenvolumen ergeben würden. Damit ist zugleich die Hauptkritik der von uns gefundenen Werthe für Herzschlag- und Minutenvolumen gegeben. Sie sind also für die Höhe eher zu klein als zu gross befunden und betragen:

	Minutenvolumen		Schlagvolumen	
	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe
Mohr	4015	4339	59,0	53,6
Kuhn	3625	4646	57,7	64,9
Dorn	3560	3674	61,5	62,0
Schubert	3361	3559	56,6	51,1

Wir schliessen also, dass das Minutenvolumen und damit die Herzthätigkeit in der Höhe mässig erhöht ist. Am stärksten kommt dies an den ersten Versuchstagen zum Vorschein. Das Schlagvolumen ist nach unseren Versuchen in der Höhe kleiner als in der Ebene; dies wird aber durch Frequenzsteigerung des Herzschlags übercompensirt.

Zusammenfassung.

I. Im Anschluss an frühere Arbeiten fanden wir:
   1. Geringe Erhöhung der Pulsfrequenz.
   2. Vermehrung des Hb-Gehaltes im Blut.
   3. Individuell verschiedene Steigerung des Stoffwechsels.

II. Bei der Kritik der Plesch'schen Methode ergab sich:
   1. Die erhaltene Sackluft entspricht nicht völlg der gesuchten Alveolarluft.

2. Die Sackluft wird in ihrer Zusammensetzung durch die Alveolarluft beeinflusst und folgt ihren biologischen Veränderungen.

III. Mit Hülfe der Methode wurde gefunden:

1. Die Sauerstoffspannung im venösen Blut ist im Hochgebirge relativ höher als in der Ebene. Daraus ergiebt sich ein annähernd gleicher Sauerstoffgehalt des venösen Blutes in Höhe und Ebene.
2. Das Minutenvolumen ist im Hochgebirge mässig vergrössert. Die mangelnde Erhöhung des Schlagvolumens ist theilweise durch Frequenzsteigerung des Herzschlags übercompensirt.

Benutzte Literatur.

1) Abderhalden, Zeitschr. f. Biol. 1902. Bd. 43. S. 125.
2) Bert Paul, Sur la pression barométrique. Paris 1877.
3) Bohr, Hasselbalch u. Krogh, Skand. Arch. f. Physiol. 1904. Bd. 16.
4) Bohr, Nagel's Handb. d. Physiol. 1905. Bd. 1. S. 96 u. 141.
5) Douglas, Haldane, Henderson u. Schneider, Proceedings of Royal Society. Serie B. Vol. 85. No. B 576. p. 65.
6) Durig, Physiologische Wirkungen des Höhenklimas. Wiener klin. Wochenschr. 1911. Bd. 24. No. 18. S. 619.
7) Durig u. Zuntz, Beobachtungen über die Wirkung des Höhenklimas auf Teneriffa. Biochem. Zeitschr. Bd. 39. S. 435.
8) Durig, Kolmer, Rainer u. Caspari, Physiologische Ergebnisse der im Jahre 1906 durchgeführten Monte Rosa-Expedition. Denkschr. d. Mathem. Naturw. Klasse d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch. Wien 1909. Bd. 86.
9) Egger, Ueber Veränderungen des Blutes im Hochgebirge. 12. Congress f. innere Med. 1893. S. 262.
10) Fick, Vierordt's Daten und Tabellen. S. 161.
11) Jaquet u. Stähelin, Stoffwechselversuche im Hochgebirge. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. 1901. Bd. 46.
12) Jaquet, Ueber die physiologische Wirkung des Höhenklimas. Programm. Basel 1904.
13) Kronecker, Die Bergkrankheit. Berlin-Wien 1903.
14) Löwy, Die Gase des Körpers. Handb. d. Biochem. d. Menschen u. d. Thiere. Jena 1911. Bd. 4.
15) Löwy u. v. Schrötter, Untersuchungen über die Blutcirculation des Menschen. Zeitschr. f. exper. Pathol. u. Ther. Bd. 1. S. 197.
16) Mosso, Angelo, Der Mensch auf den Hochalpen. Leipzig 1899.
17) Plesch, Hämodynamische Studien. Zeitschr. f. experim. Pathol. u. Ther. Bd. 6.
18) Derselbe, „Der Kolbenkeilhämoglobinometer", ein neuer Apparat zur functionellen Hämoglobinbestimmung. Münchener med. Wochenschr. 1910. No. 8.
19) Schapals, Das Verhalten der Blutcirculation und des Stoffwechsels beim gesunden Menschen und der Einfluss verschieden temperirter Bäder. Zeitschr. f. exper. Pathol. u. Ther. Bd. 10.
20) Stäubli, Ueber den physiologischen Einfluss des Höhenklimas auf den Menschen, Festschrift. Berlin 1910.
21) Strohl, Ueber die Herzverhältnisse bei nächstverwandten Vogelarten aus den Hochalpen und der lappländischen Ebene. Centralbl. f. Physiol. Bd. 24. No. 3.
22) Zuntz, Löwy, Müller u. Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen in ihrem Einfluss auf den Menschen. Berlin 1906.

Lebenslauf.

Am 26. April 1889 wurde ich, Hermann Adolf Kuhn, in Steinbach-Hallenberg, Kreis Schmalkalden, als Sohn des dortigen praktischen Arztes geboren. Ich bin preussischer Staatsangehöriger. Ich besuchte das Dom-Gymnasium in Naumburg-Saale und das Stadt-Gymnasium in Halle, wo ich Ostern 1907 das Abiturientenexamen bestand. Ich studirte zunächst ein Semester in Halle während meiner militärischen Dienstzeit, das nächste in München, dann wieder drei Semester in Halle, wo ich im August 1909 meine ärztliche Vorprüfung bestand. Von den klinischen Semestern war ich zwei in München und drei in Halle. Meine Lehrer waren in München: die Professoren DDr. v. Baeyer, v. Bauer, Baisch, Borst, Döderlein, Fessler, Göbel, Kräpelin, Lindemann, May, v. Müller, Neumayer, Röntgen, Rössle, Rückert, Salzer; in Halle: Anton, Beneke, Bernstein, v. Bramann, Denker, Dorn, Eberth, Eisler, Fränken, Gebhardt, Grenacher, Grouven, Harnack, Heynemann, v. Hippel, Igersheimer, Mohr, Roux, Schmidt, Schulz, Stieda, Stöltzner, Veit, Volhard, Vorländer. Am 14. Juni 1912 bestand ich in Halle die Staatsprüfung. Dann war ich als Medicinalpraktikant 8 Monate an der medicinischen Universitäts-Poliklinik zu Halle und 4 Monate am pathologisch-anatomischen Institut des Krankenhauses am Urban in Berlin. Das Colloquium bestand ich am 29. März 1913.

Die ärztliche Approbation erhielt ich am 1. Juli 1913.